**医学图像三维可视化技术及其应用**

1. **摘要**

当下医学图像三维可视化仍是医学图像研究领域的热点，鉴于科技的不断进步对图像质量和应用开发提出的更高要求，医学图像三维可视化技术仍需不断发展前进。本文对过去国内外医学图像三维可视化的研究及在相关领域的应用进行了简要概述，阐明医学图像三维可视化过程、实现的相关技术以及应用开发的系统架构，详细介绍了其在临床诊断与治疗、医学教学、医美整形和牙齿矫正等领域的最新应用。研究表明，医学图像三维可视化技术已经在许多领域取得了大量应用成果，相信在5G、VR、AR和元宇宙等相关技术大背景下，医学图像三维可视化技术将在更多领域发挥更为重要的作用。

1. **前言**

我们生活的真实世界在忽略时间的条件下是三维的，三维图像相较于二维图像能够为我们提供更为直观、细致的视觉感受。而当下大多数医学成像技术和设备，包括X光成像、计算机断层扫描成像(CT)、核磁共振成像(MRI)、心电图(ECG)、脑电图(EEG)和超声成像等，其所提供的医学图像大多是二维的，尽管对疾病的诊断和临床治疗提供了巨大帮助，但也对医生的专业知识和临床经验提出了很高的要求。医生通过二维的断层扫描图像，凭借经验判断病灶的结构形态，推测周围相关组织受影响的可能和程度，这大大限制了诊断结果的准确性，造成疾病的漏诊误诊。

因而自然而然地，我们想在计算机中创造类似真实世界的三维空间，通过将二维的医学图像三维可视化，为医生提供更为直观的诊断条件，将医学图像更好地与医生的知识和经验结合，从而为患者提供更为精确的疾病诊断和治疗方案，减少漏诊误诊的可能性。

当下医学图像三维可视化仍是医学图像研究领域的热点，随着医学图像三维可视化技术的不断发展，其将在临床诊断和治疗、医学教学、医学美容规划、牙齿矫正等方面发挥更为重要的作用。

1. **医学图像三维可视化过程**

医学图像三维可视化过程即将一系列二维断层图像或数据经过一系列处理转化为空间三维立体图像的过程。主要包括以下步骤：

第一步，通过医学成像设备(CT、MRI等)或扫描仪(心脑血管扫描仪、面部扫描仪等)扫描人体相关部位，获取二维的医学图像或相关数据，通常是符合DICOM（Digital Imaging and Communications in Medicine）格式的医学图像。DICOM，即医疗数位影像传输协定，作为一种规范医学图像和相关信息的格式标准被广泛应用于各类医学成像设备中。但DICOM格式的图像通常无法通过计算机图像软件直接读取和处理，因此获取后需要通过格式转化，将其转化成图像软件能够处理的格式类型。

第二步，将获取的较低质量医学图像进行预处理，改善图像质量。实际的图像采集过程中，在获取图像-传输图像-图像格式转换过程中，由于外界环境干扰、传输过程损耗、格式转换等问题，获取到的医学图像质量往往不及预期，需要通过相关技术对图像预处理，提升图像品质。比如通过图像配准将不同时间或不同成像条件下获取的多幅图像进行匹配、叠加，补足缺失的图像细节；通过图像增强有目的地强调图像的整体或局部特性，使得图像更为清晰或感兴趣的特征部位得到强调。

第三步，将目标图像从整体图像中分离出来。根据灰度、空间纹理、几何形状等特征将图像分割，得到特征区域一致或相似的图像。主流的图像分割方法有基于阈值的分割方法、基于区域的分割方法、基于边缘检测的分割方法和结合各种特定工具的图像分割算法等。

第四步，将获取到的一系列图像数据，通过特定的三维重建方法进行三维重建。例如通过基于深度学习的三维重建方法，利用大量的训练资料来训练深度神经网路或是卷积神经网路建构的模型，最终达到以单张或多张二维影像作为输入，推测出对应三维形状的目的。

第五步，通过相关的代码操作生成的三维模型，实现相关应用程序的开发。通过计算机图形学技术和相关的框架，可以对模型展示过程中的背景明暗、光线角度、相关的色彩渲染进行控制，对骨骼顶点进行旋转、放缩、平移等操作，使得三维可视化后的医学图像模型能满足预期的相关功能要求。

**3. 医学图像三维可视化技术**

实现图像三维可视化的方法，主要有面绘制和体绘制两种。

**3.1 面绘制**

面绘制方法基于首先建立网格模型，然后渲染网格的思想，将二维图像进行分割后通过轮廓识别、图像提取等操作，对物体表面建立三角形网格模型并渲染，从而在计算机上显示出我们想要的物体，并通过调节观察视角实现观察角度的变化。面绘制的主要算法有移动立方体算法、剖分立方体算法等。

移动立方体算法是一种从三维图像中重建出等值面三维模型的方法，其通过假设三维图像是在空间中均匀分布的数据场，遍历所有体素，在每个体素内独立生成等值面，所有等值面的集合构成等值面三维模型；而随着医学成像技术的不断发展，影像的精度不断提高，有限的屏幕分辨率下屏幕像素远大于移动立方体算法在体素上生成的小三角形面片数量，此时剖分立方体算法应运而生，其通过生成与显示像素对应的点元直接形成显示图像。

**3.2 体绘制**

体绘制方法首先获取三维图像的体素点，然后通过透明度叠加计算后直接对屏幕上的像素点着色，这种方式能够清楚地表现体数据内部细节，成像清晰可靠，但对计算机硬件要求较高。体绘制算法主要分为以图像空间为序和以对象空间为序两种, 分别以光线投射算法和抛雪球算法作为代表。

光线投射算法沿着视线方向对图像平面的每个像素都发出一条射线，穿过数据集的射线按照给定步长采样，由内插计算每个采样点的颜色值和不透明度，然后逐点计算累计的颜色值和不透明度，直至光线完全被吸收或穿过物体；通过使用冯氏光照模型引入镜面反射、漫反射和环境反射等光照效果，将各组织器官相互之间的层次关系和形状特征更为清晰地表现出来，丰富了医学图像的信息。抛雪球算法也称足迹法，其通过足迹函数计算三维图像每一个体素点投影的影响范围，用小区域像素的强度分布计算出其对图像的总体贡献，最终加以合成形成最后的图像。

实现图像三维可视化的应用的系统架构模式，主要有硬件配套专门软件的形式和基于WebGL的网页形式。

**3.3 硬件配套系统软件的C/S架构**

通过专门的硬件以及为之专门开发的三维软件系统，基于C/S架构实现医学图像三维可视化，例如许多整形医院引进的三维人脸采集系统等，其在图像的显示精度、系统的专业度等方面有着巨大的优势，但其也往往伴随着高昂的价格和一套复杂的软硬件系统，使用门槛高，开发难度大。

**3.4 基于WebGL的B/S架构**

随着WebGL技术的不断发展，网页也能够模拟出的愈加真实的三维图像效果，成为近来广受欢迎的三维医学图像载体平台。尚倩等将原始二维多帧图像通过医学图像三维重建与分割模块转化为OBJ、STL等高精度、高压缩比的三维矢量模型，存储到案例库后通过WebGL技术实现通过网页浏览器向用户展示医学三维图像，这极大拓宽了医学图像的使用场景。为了使相关医学图像更具便携性，针对医学影像的移动化要求，向俊、叶青等人提出的基于网页的可视化医学影像平台，通过医学图像处理和科学可视化的跨平台应用框架MeVisLab对电子计算机断层扫描成像（CT）或核磁共振成像（MRI）图像进行三维重建，基于WebGL技术实现了适用于多种操作系统的医疗影像数据平台，使得相关影像数据通过手机也可以方便查看。基于WebGL的B/S架构开发的三维可视化平台具有使用条件宽松、应用方便等特点，但局限于WebGL技术当下的发展程度，其在三维图像展示精度、显示性能等方面还有很多不足。

**4. 医学图像三维可视化应用**

**4.1 临床诊断与治疗应用**

传统的医学影像技术获取的是二维投影图像或断层图像,医生通过观察不同成像角度的投影图像或者一组断层图像,对影像结果进行定性分析,推断病变组织及周围组织相关情况。从二维的医学影像中推断三维的人体组织结构情况，这对医生的空间想象、专业分析等能力提出了很高的要求，诊断结果严重依赖于医生的专业经验和读片水平。但二维影像条件下要想精确地确定病变部位的位置、形状、大小以及与周围组织的空间关系,仅仅依靠医生的主观分析判断是很困难的。

通过将二维的医学数据进行三维可视化处理，医生能够以三维立体图像的形式更为直观地观察病变部位相关结构及其与周围正常组织的空间关系，并可以通过平移、旋转、放缩等交互式操作对相关部位进行观察分析和精确测量，从而设计出更为精准的临床治疗方案，提高临床诊断和治疗水平。例如利用传统内窥镜得到的二维断层结构图像进行三维可视化处理，从而在计算机呈现出病人三维组织结构的虚拟内窥镜技术已经在临床诊断中得到广泛的应用，其更为直观性的检查方式在耳鼻喉、心脑血管、肠胃等检查中具有有意义的前景。

**4.2 医学教学应用**

传统的医学教学模式多以语言描述、图片演示和临床见习为主，其课业过程往往单调乏味，学生需要通过死记硬背、片面想象才能对相关人体组织结构、病灶结构、手术操作过程留下印象，这很难调动学生的学习积极性，种种局限使得传统的医学教学模式越来越难以满足现代医学教育的要求。

近年来，通过将3D打印、虚拟和增强现实技术和三维医学图像处理技术相结合，生成相关的组织、病理3D虚拟模型供展示和操作，在医学教学实践中表现出了不错的教学效果。相关三维图像具有立体性、直观性和可交互性等特点，能够真实模拟人体组织结构和生理病理变化，还可以通过相关操作程序对临床手术进行模拟和仿真，灵活的学习方式和直观的操作过程不仅加深了学生学习的印象，也激发了学生学习的积极性，从而起到了事半功倍的教学、学习效果。例如陈刚等基于腹部断层图像数据、通过三维可视化技术建立的三维虚拟肝脏系统，具有移动、放缩、旋转、切割等多重交互功能和测量功能，能够在此系统中展示肝内外重要结构的解剖特征并实现肝外科虚拟手术，为经验不那么丰富的新手外科医生提供了很好的实践平台。

**4.3 医美整形、牙齿矫正应用**

医美整形行业中，术前沟通环节承载着将患者的愿望与医生的专业建议相结合、最终达成一套理想的手术方案的任务。但不得不承认的一个现实是，术前咨询环节依然遵循传统的口头沟通方式，以此以一种较为模糊的方法确定最终可能达到的整形效果。通过此方式患者与整形医生往往很难就最终的整形效果达到真正意义上的共识，模糊共识下双方实际上对治疗方案和效果有各自不同的理解，由此也引发了许多医疗事故与纠纷。

尽管借助一些科技化的手段，例如术前对顾客进行影像采集和PS模拟术后效果，可以在一定程度上弥补口头沟通达成的抽象方案的种种不足，但终究不如三维形式更为直观。当下部分整形医院中也逐渐尝试引进三维人脸采集系统，通过专门的面部扫描成像仪器以及为之专门开发的三维软件系统实现三维人脸成像；随着WebGL技术的不断发展，网页能够模拟出的愈加真实的3D人脸效果也将能够为最终的整形手术效果提供直观的展示。通过将术后预期效果以更为直观的3D立体形式向患者展示出来，顾客和医生能够在术前咨询环节就治疗方案和手术效果达成一致的理解，高效精准地确定最终的手术方案，也为术后的参照以及可能出现的纠纷提供依据，这有望弥补医美整形手术现有条件下术前咨询环节存在的种种不足。

同时，对于牙齿的矫正及牙科疾病的治疗，近年来也越来越多地应用到了医学图像三维可视化技术，通过配套的三维扫描仪对患者牙齿结构扫描建模，扫描过程中牙齿的排列情况及牙齿的健康程度等相关信息均被获取并反映在模型中，为后续医生更好地根据患者情况进行矫正与治疗提供了很大帮助。

**5. 结论与展望**

医学图像三维可视化技术在过去几十年中获得了长足的发展，其三维成像过程逐渐成熟和标准化，各类三维可视化技术、相关算法的研究、相关工具的开发也逐渐丰富，当下医学图像三维可视化也在临床疾病诊断与治疗、模拟手术与课程教学、医美整形等各方面得到了广泛的应用。相信随着后续人工智能(AI)、虚拟和增强现实(VR和AR)等计算机技术的不断发展和相关医学成像设备性能的进一步提升，三维可视化技术将在医学领域发挥更为重要的作用。

**6. 参考文献**

1. 王猛，孔繁之. 医学图像三维可视化技术及其新进展[J]. 医学影像学杂志，2015，6:1095-1097.
2. 常旖旎，鲁雯，聂生东． 医学图像三维可视化技术及其应用[J]．中国医学物理学杂志，2012，29(2)：3254-3258．
3. Zhou Z, Peng L, Ren J, et al. Virtual facial reconstruction based on accurate registration and fusion of 3D facial and MSCT scans[J]. Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopadie, 2016, 77(02)：104-111.
4. Chang JB, Small KH, Choi M, Karp NS. Three-dimensional surface imaging in plastic surgery: foundation, practical applications, and beyond. Plast Reconstr Surg. 2015, 135(5):1295-1304.
5. 刘尚平，陈骥，刘霞. 基于医学图像的三维模拟手术[J]. 中国医学影像技术，2010，1：167-170.
6. 胡芳华，滕书华，贺正华. 三维人脸虚拟整形系统的临床应用[J]. 中华整形外科杂志, 2019,35(11) : 1084-1089.
7. 付淼. 医学图像三维重建及应用[J]. 中国医学工程，2013，20(9)：189-190.
8. 方路平，李国鹏，洪文杰，万铮结. 基于WebGL的医学图像三维可视化研究[J]. 计算机系统应用，2013，9：25-30.
9. 叶傲天. 基于WebGL的医疗数据渲染引擎设计与实现[D]. 华中科技大学，2022.
10. De Greve G, Malka R, Barnett E, et al. Three-Dimensional Technology in Rhinoplasty. Facial Plast Surg, 2022, 38(5): 483-487.
11. Xia J, Wang D, Samman N, Yeung RW, Tideman H. Computer-assisted three-dimensional surgical planning and simulation: 3D color facial model generation. Int J Oral Maxillofac Surg, 2000, 29(1):2-10.
12. 张敬敏，蒋力培，邓双成. 医学图像三维可视化技术研究[J]. 中国医学影像技术，2004，7：1129-1132.
13. 孙硕. 三维面部虚拟整形软件关键技术研究[D]. 长春理工大学，2022.
14. 陈刚，晋云，谭立文等. 三维数字虚拟人体肝脏系统的建立及其应用[J]. 第三军医大学学报，2008，22：2103-2106.
15. Markiewicz MR, Bell RB. The use of 3D imaging tools in facial plastic surgery. Facial Plast Surg Clin North Am. 2011, 19(4):655-ix.
16. 杨震，卢虹冰. 3DsMax软件用于人体软组织器官形变模拟的研究[J]. 医疗卫生装备，2014，6：5-8.
17. 方驰华，李乔林，蔡伟. 三维可视化技术在肝门部胆管癌诊断与治疗中的转化应用[J]. 中华消化外科杂志，2018，4：343-346.
18. 李达敕. Three.js架构下的WebGL技术在网页图形中的应用[J]. 内蒙古农业大学学报：自然科学版，2021，2：99-103.
19. Koban KC, Leitsch S, Holzbach T, et al. Giunta RE13D-imaging and analysis for plastic surgery by smartphone and tablet: an alternative to professional systems[J]. Handchirurgie, Mikrochirurgie, Plastische Chir. 2014, 46(02):97-104.
20. 黄雨欣，周颖林，骆家琪，李晓东. 基于Verge3D的WebVR技术实现[J]. 信息与电脑(理论版)：2022，34(01)：14-16.
21. 向俊，叶青，袁勋. 基于网页的可视化网络医学影像平台设计[J]. 生物医学工程学杂志. 2017，34(02)：233-238.
22. 冯静怡. 基于web的三维虚拟形象生成与控制方法研究[D]. 北京邮电大学，2021.
23. 尚倩，张寅升. 基于WebGL的三维医学影像在线教学系统[J]. 高教学刊. 2018(06)：75-76.
24. Pallanch J. Introduction to 3D imaging technologies for the facial plastic surgeon. Facial Plast Surg Clin North Am., 2011, 19(4): xv-vii.
25. 刘兆明. 基于WEB端的医学图像可视化技术研究[D]. 天津工业大学，2018.
26. 朱政，胡泽楷，杨旭明. 基于WebGL技术的三维动态针灸头部穴位诊疗学习系统的研发与应用 [J]. 中国中医药现代远程教育，2021，19(16)：21-24.
27. Kaboudian A, Cherry EM, Fenton FH. Real-Time Interactive Simulations of Complex Ionic Cardiac Cell Models in 2D and 3D Heart Structures with GPUs on Personal Computers. Comput Cardiol (2010), 2021, 48:10-23.
28. 沈柯. 基于WebGL的3D网页游戏的开发与应用研究[D]. 天津科技大学，2018.
29. David Flanagan. JavaScript权威指南[M]. 原书第7版. 机械工业出版社, 2021.
30. Jos Dirksen. Three.js开发指南[M]. 原书第3版. 机械工业出版社, 2019.
31. ThreeJs官方文档. https://threejs.org/docs/#api/zh, 2023.
32. Blender中文文档. https://docs.blender.org/manual/zh-hans/2.79/about/introduction.html, 2022.